

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 539.163
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-3-249-256>

Поступила в редакцию 03.04.2023
Received 03.04.2023

О. Н. Антипенко

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩЕГО СОРБЕНТА В РАЦИОНАХ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ И КРОЛИКОВ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты изучения радиологической эффективности углеродного ферроцинсодержащего сорбента ^{137}Cs производства Института природопользования НАН Беларуси на крупных и мелких сельскохозяйственных животных.

В сельскохозяйственном филиале «Агро-Ветка» ОАО «Ветковский агросервис» Ветковского района Гомельской области проведен научно-производственный эксперимент на двух группах лактирующих коров, по 5 голов в каждой. Разница между группами заключалась в том, что коровам опытной группы в состав комбикорма вводился сорбент из расчета 40 г/гол в сутки. Отбор проб молока у коров опытной и контрольной групп проводился на 0, 5, 8, 11, 14, 17 и 20-е сутки опыта. Начиная с 5-х по 20-е сутки применения углеродного сорбента установлено снижение содержания ^{137}Cs в молоке с 1,7 до 4,5 раза.

Для проведения опыта на мелких сельскохозяйственных животных были сформированы 4 группы кроликов-самцов трехмесячного возраста породы белый паннон (контрольная и 3 опытных), по 3 головы в каждой. Продолжительность опыта составила 30 дней. Ферроцин и углеродный модифицированный сорбент вводили в состав комбикорма.

В 1-й опытной группе ферроцин вводили по 0,2 г/гол из расчета 100 мг/кг живой массы, во 2-й и 3-й опытных группах углеродный ферроцинсодержащий сорбент – соответственно по 2 и 4 г/гол из расчета 1 и 2 г/кг живой массы.

Установлено, что модифицированный ферроцином (5 %) углеродный сорбент в дозах 2 и 4 г/гол эффективнее в 1,4 и 2,6 раза соответственно, чем чистый ферроцин. При этом в дозе 4 г модифицированный углеродный сорбент в 1,8 раза эффективнее, чем в дозе 2 г.

Затраты на 1 тыс. Бк при накоплении в мясе кроликов ^{137}Cs в группе с углеродным сорбентом в дозе 2 г/гол снизились на 0,93 руб., или в 7,6 раза, а в дозе 4 г/гол – на 0,83 руб., или в 4,0 раза, в сравнении с данным показателем в группе с ферроцином.

Ключевые слова: ^{137}Cs , молоко, коровы, эффективность, сорбент, ферроцин, рацион, кролики, эффективность

Для цитирования: Антипенко, О. Н. Эффективность применения углеродного ферроцинсодержащего сорбента в рационах лактирующих коров и кроликов / О. Н. Антипенко // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2023. – Т. 68, № 3. – С. 249–256. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-3-249-256>

Olga N. Antipenko

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

EFFICIENCY OF USE OF CARBON FERROZINE-CONTAINING SORBENT IN THE DIETS OF LACTATING COWS AND RABBITS

Abstract. The article discusses the research results of the radiological efficiency of the carbon ferrocine-containing ^{137}Cs sorbent produced at the Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus on cattle and small farm animals.

The experiment was held at the Branch of the “Agro-Vetka” JSC “Vetka Agroservice” farm located in the Vetka district, Gomel region, Belarus, and involved two groups of lactating cows, 5 heads each. The experiment group, unlike the control one, was given a sorbent at a rate of 40 g per head per day mixed in the diet. Milk samples of the cows of the experiment and control groups were taken on the 0, 5, 8, 11, 14, 17 and 20th day of the experiment. Starting from the 5th day and up to the 20th day of sorbent feeding, a 1.7 to 4.5 time decrease in the ^{137}Cs content in milk was observed.

The sorbent cost in the experiment group per 1 thousand Bq of the obtained difference (against the control group) in the ^{137}Cs content in milk was 0.65 rubles. The ferrocine use for the same purpose can be approximately 5.2 times more expensive.

The adsorption efficiency of ^{137}Cs by domestic sorbents based on carbon and ferrocine on small farm animals was studied. The experiment lasted 30 days and involved 4 groups of the 3-month Pannon White male rabbits, including 1 control and 3 experiment groups, three rabbits per each group. The experiment groups were formed using a pair matching method. Ferrocine and carbon-modified sorbents were mixed into the composition of rabbit compound feed.

The 1st group received 0.2 g ferrocin per head at a rate of 100 mg per 1 kg of live weight. The 2nd and 3rd groups were given 2 and 4 g of carbon ferrocin-containing sorbent per head, respectively, at a rate of 1 and 2 g per 1 kg of live weight, respectively. The effect of the carbon and ferrocyanide (5 %)-modified sorbent at a dose of 2 and 4 grams per rabbit is by a factor of 1.4 and 2.6, respectively, more effective than the application of ferrocin alone. A dose of 4 grams of the carbon-modified sorbent is by a factor 1.8 more effective than that of 2 grams.

The costs associated with 1 thousand Bq difference in accumulation of ^{137}Cs in rabbit meat in the “carbon sorbent 2 g/head” and “carbon sorbent 4 g/head” groups is respectively 0.93 rubles, or 7.6 times, and 0.83 rubles, or 4.0 times, lower than those in the “ferrocyn” group.

Keywords: ^{137}Cs , milk, cows, efficiency, sorbent, ferrocin, diet, rabbits, efficiency

For citation: Antipenko O. N. Efficiency of use of carbon ferrozine-containing sorbent in the diets of lactating cows and rabbits. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya byalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2023, vol. 68, no. 3, pp. 249–256 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-3-249-256>

Введение. После аварии на Чернобыльской АЭС, в результате которой значительные территории Беларуси оказались загрязненными долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr , актуальным является получение на этих территориях сельскохозяйственной продукции в пределах РДУ-99 [1–3].

В рамках санитарно-нормативных требований одним из направлений в решении проблемы получения сельскохозяйственной продукции является использование в кормлении животных энтеросорбентов, которые связывают и выводят из желудочно-кишечного тракта эндогенные и экзогенные радионуклиды. Известно, что энтеросорбенты, препараты с различной структурой, осуществляют связывание различных токсикантов в желудочно-кишечном тракте путем адсорбции, ионообмена, комплексообразования [4, 5].

Наиболее чувствительной проблемой в отношении получения на территории радиоактивного загрязнения продукции, соответствующей нормам республиканских допустимых уровней (РДУ–99) по содержанию ^{137}Cs , является производство молока как в общественных, так и в личных подсобных хозяйствах. Получение молока, в котором содержание радионуклидов превышает РДУ-99, отмечается, как правило, тогда, когда практически все другие виды агропромышленной продукции накапливают радионуклиды в меньших количествах. Особенно остро стоит вопрос о выпасе коров на загрязненных ^{137}Cs пастбищах [4, 6]. В таких случаях для снижения накопления радионуклида в молоке применяются сорбенты. Наиболее эффективным антидотом ^{137}Cs является ферроцин, выпуск которого налажен в Российской Федерации [5, 7].

С целью импортозамещения в Институте природопользования НАН Беларуси проведены исследования по получению избирательно сорбирующих радиоцезий материалов на основе гексацианоферратов, введенных в поры активированного угля из торфа. По данным лабораторных исследований, модифицирование гексацианоферратом железа (ферроцином) активного угля показало результаты намного лучше, чем исходный ферроцин и ферроцин, нанесенный на травяную муку [8].

При испытании препаратов на лабораторных крысах установлено, что введение сорбента ферроцина в рацион питания крыс позволяет на 5–7-е сутки снизить период полувыведения радиоцезия из организма животных, при этом если для исходного ферроцина доза составляла 100 мг/кг живой массы, то в составе активного угля она была снижена до 5 мг/кг при сохранении той же эффективности.

Разработка энтеросорбента на основе торфяного угля и его предварительные лабораторные исследования показали, что налаживание производства и выпуска препарата для нужд животноводства позволит отказаться от импорта и, соответственно, снизить расходы валютных средств и обеспечить импортозамещение [9].

Цель исследования – изучение радиологической эффективности углеродного ферроцинсодержащего сорбента ^{137}Cs белорусского производства на крупных и мелких сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы исследования. Для проведения опыта на базе вивария РНИУП «Институт радиологии» в IV квартале 2017 г. были сформированы 4 группы кроликов-самцов трехмесячного возраста породы белый паннон (контрольная и 3 опытных), по 3 головы в каждой. Группы были подобраны по методу пар-аналогов. Продолжительность опыта составила 30 дней.

При формировании контрольной и опытных групп учитывались происхождение, живая масса, возраст, состояние здоровья, упитанность, индивидуальные особенности кроликов. По происхождению животные отбирались одной породы, живой массой 1,8–2,3 кг, в возрасте 2–3 мес., здоровые, средней упитанности. Также учитывались такие индивидуальные особенности, как аппетит, темперамент, агрессивность. Взвешивание животных каждой группы проводилось в начале и в конце опыта индивидуально.

Контрольная и опытные группы животных во время опыта получали в составе основного рациона сено злаково-бобовое (0,06 кг/гол в сутки с удельной активностью по ^{137}Cs 5500–6400 Бк/кг) и комбикорм-концентрат КК-92 для взрослых кроликов (ТУ РБ 600024008.125-2006) (0,15 кг/гол в сутки). Кормление кроликов в течение дня было двухразовым (9.00, 16.00). Раздачу кормов проводили равными порциями во время первого и второго кормления в соответствии с рационом. Водой кролики обеспечивались из индивидуальных поилок. Содержание и уход за подопытными животными были одинаковыми во всех группах.

Ферроцин и углеродный модифицированный сорбент вводились в состав комбикорма. В 1-й опытной группе вводился ферроцин в дозе 0,2 г/гол из расчета 100 мг/кг живой массы, во 2-й и 3-й опытных группах – углеродный ферроцинсодержащий сорбент в дозах по 2 и 4 г/гол из расчета 1 и 2 г/кг живой массы (в том числе по 50 и 100 мг ферроцина/кг живой массы). Комбикорм-концентрат КК-92 для кроликов состоял из 61 % зерновой группы (ячмень, пшеница, овес, отруби), 34 % белковой группы (мука травяная, шрот подсолнечный, шрот соевый) и 5 % минерально-витаминной группы (меласса, премикс, мел, соль). В комбикорме содержалось 16,0 % сырого протеина, 13,0 % сырой клетчатки, 0,45 % кальция, 0,45 % фосфора, 0,50 % хлорида натрия.

Поедаемость кормов изучали путем ежедневного учета заданных кормов и их остатков, живую массу животных – путем индивидуального взвешивания в начале и в конце исследований, среднесуточные приросты – расчетным путем. Коэффициенты перехода (КП) ^{137}Cs из кормов в мышечную ткань определяли по соотношению удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани к его содержанию в рационе.

Для изучения возможности использования углеродного ферроцинсодержащего сорбента в рационах лактирующих коров в 2018 г. в сельскохозяйственном филиале «Агро-Ветка» ОАО «Ветковский агросервис» Ветковского района Гомельской области был проведен научно-производственный эксперимент. опыты проводили в конце зимне-стойлового и в начале летне-пастбищного содержания коров.

Были сформированы две группы лактирующих коров: опытная и контрольная, по 5 голов в каждой.

Для проведения опытов животные были отобраны по принципу пар-аналогов, с учетом живой массы, возраста в отелах, стадии лактации, среднесуточного удоя. Разница между группами заключалась в том, что коровам опытной группы в состав комбикорма вводился сорбент из расчета 40 г/гол в сутки.

Содержание и уход за подопытными животными были одинаковыми и соответствовали принятой на животноводческом объекте технологии производства молока, а также организации труда. Условия содержания животных были одинаковыми на протяжении всего эксперимента. Коровы содержались на привязи в 4-рядном коровнике. Отбор проб молока у коров опытной и контрольной групп проводился на 0, 5, 8, 11, 14, 17 и 20-е сутки опыта.

Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов, молока выполнялось на γ -спектрометрическом комплексе Canberra-Packard с погрешностью не более 30 %. В ходе проведения научно-производственного опыта во время кормления животных учитывалось количество съеденных кормов основного рациона и несъеденных остатков (путем контрольного взвешивания 1 раз в 5 дней). Молочная продуктивность коров определялась по данным контрольных доек индивидуально от каждой коровы 1 раз в 5 дней.

Результаты и их обсуждение. За время проведения опытов в каждой группе кроликам было скормлено по 5,4 кг сена и по 13,5 кг комбикорма. Как показали наблюдения за животными, поедаемость ими сена была примерно одинаковой. При учете поедаемости комбикорма было установлено, что несъеденный его остаток за время опыта в контрольной группе составил в среднем

1,02 ± 0,56 кг/гол, в 1, 2 и 3-й опытных группах – 0,8 ± 0,49; 1,02 ± 0,41 и 0,81 ± 0,39 кг/гол соответственно.

Прирост живой массы кроликов за время опыта был отмечен в пределах от 0,90 ± 0,35 кг в 3-й опытной группе до 1,03 ± 0,60 кг во 2-й опытной группе (табл. 1). Результаты взвешивания животных в конце опыта показали, что индивидуальные среднесуточные приросты животных во всех группах практически не различались и колебались в пределах 10,0–10,7 г/сут. Достоверных различий между группами в потреблении кормов и приросте живой массы не установлено.

На основании этого был сделан вывод, что скармливание ферроцина в дозе 0,2 г/гол и углеродного ферроцинсодержащего сорбента в дозах 2 и 4 г/гол не оказали отрицательного влияния на аппетит животных и прирост их живой массы.

Т а б л и ц а 1. Показатели прироста живой массы подопытных животных

Table 1. Indicators of live weight increase of experimental animals

Группа	Живая масса на начало опыта, кг	Живая масса на конец опыта, кг	Прирост живой массы, кг	Среднесуточный прирост живой массы, г
Контрольная	1,97 ± 0,47	2,90 ± 0,26	0,93 ± 0,40	10,3
1-я опытная	1,97 ± 0,29	2,93 ± 0,12	0,97 ± 0,40	10,7
2-я опытная	2,03 ± 0,25	3,1 ± 0,58	1,03 ± 0,60	11,4
3-я опытная	2,07 ± 0,15	2,97 ± 0,21	0,90 ± 0,35	10,0

П р и м е ч а н и е. Достоверность различий между группами – $p > 0,05$.

За время проведения эксперимента кроликам контрольной и опытных групп было скармлено по 5,4 кг злаково-бобового сена (из расчета 0,06 кг/гол в сутки), удельная активность ^{137}Cs в котором составляла 6000 ± 352 Бк/кг (колебания от 500 до 6400 Бк/кг), и по 13,5 кг комбикорма-концентрата (по 0,15 кг/гол в сутки), удельная активность ^{137}Cs была ниже 10 Бк/кг. Среднесуточное поступление в организм животных радионуклида в составе рациона составило 361,5 Бк/сут, из которых 99,6 % приходилось на ^{137}Cs в составе сена и 0,4 % в составе комбикорма. При этом в 1-й опытной группе уровень ферроцина в составе комбикорма за 30 сут составил 6 г/гол, а содержание углеродного ферроцинсодержащего сорбента во 2-й и 3-й опытных группах – 60 и 120 г/гол соответственно.

С целью установления параметров накопления ^{137}Cs , получаемого из рациона, в мышечной ткани на 30-е сутки эксперимента проведены радиометрические исследования мяса кроликов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Показатели удельного содержания ^{137}Cs в мышечной ткани и его поступления из рациона кроликов

Table 2. Indicators of the specific content of ^{137}Cs in the muscle tissue and its intake from the diet of rabbits

Группа	Средняя удельная активность мышечной ткани, Бк/кг	Кратность снижения уд. содерж. ^{137}Cs по сравнению с контрольной группой	КП в звене рацион–мышечная ткань
Контрольная	501,00 ± 226,3	–	1,38
1-я опытная	157,33 ± 45,0	3,18	0,43
2-я опытная	111,47 ± 44,3	4,49	0,30
3-я опытная	60,87 ± 16,2	8,23	0,16

Радиометрические исследования показали, что кратность удельной концентрации ^{137}Cs в мышечной ткани кроликов опытных групп в 3,18–8,23 раза ниже, чем в контроле. Также показано, что модифицированный ферроцином (5 %) сорбент в дозах 2 и 4 г/гол в 1,4 и 2,6 раза соответственно эффективнее, чем чистый ферроцин. Модифицированный углеродный сорбент в дозе 4 г в 1,8 раза эффективнее, чем в дозе 2 г.

КП ^{137}Cs в звене миграции рацион–мышечная ткань в контрольной группе составил 1,38, а в 1, 2 и 3-й группах – 0,43; 0,30 и 0,16, что соответственно на 95,1; 107,8 и 121,8 % меньше, чем в контроле. По сравнению с ферроцином в дозе 0,2 г/гол применение модифицированного

углеродного сорбента в дозе 2 г/гол способствовало снижению перехода ^{137}Cs из рациона в мышечную ткань на 12,7 %, в дозе 4 г/гол – на 26,7 %.

Необходимо отметить, что данные о кратности снижения содержания радиоцезия в мясе кроликов и параметрах его перехода из рациона в мышечную ткань хорошо совпадают с данными, приведенными в других исследованиях [10].

При потреблении населением 1 кг кроличьего мяса ожидаемая доза внутреннего облучения, рассчитанная по модели [11] с использованием размерного пересчетного коэффициента, равного $1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк, может составлять в контрольной группе 6,5 мкЗв, в 1-й группе – 2,05, во 2-й группе – 1,45, в 3-й группе – 0,79 мкЗв.

По данным Института природопользования, себестоимость 1 т предоставленного для исследований сорбента может составлять около 1396 руб., или 712 долл. США (в ценах 2017 г. и курсе 1 долл. США 1,96 бел. руб.). На этом основании при установлении экономической эффективности применения сорбента в рационах сельскохозяйственных животных была использована его расчетная себестоимость.

В 2017 г. стоимость покупного ферроцина в Республике Беларусь составляла 50 долл. США за 1 кг, или 98 бел. руб. Следовательно, стоимость 1 кг модифицированного углеродного сорбента в сравнении с ферроцином оказалась ниже на 96,6 бел. руб.

В проведенном нами исследовании использовался ферроцин в дозе 0,2 г/гол на сумму 1,96 коп., модифицированный углеродный сорбент в дозе 2 г/гол на сумму 0,28 коп., в дозе 4 г/гол на сумму 0,56 коп. За время опытов в 1-й группе было скормлено 18 г ферроцина, во 2-й и 3-й группах – 18 и 360 г углеродного сорбента соответственно (табл. 3). Затраты на приобретение сорбентов в 1, 2 и 3-й группах составили 1,76; 0,25 и 0,50 бел. руб. соответственно. Количество мяса кроликов после убоя 53 % от 3-килограммовых кроликов составило по 1,6 или 4,8 кг в каждой группе.

Т а б л и ц а 3. Показатели экономической эффективности сорбентов в опытных группах животных

Table 3. Indicators of the economic efficiency of sorbents in the experiment groups

Показатель	1-я группа	2-я группа	3-я группа
Потреблено сорбентов за время опыта, кг	0,018	0,18	0,36
Стоимость 1 кг сорбента, руб.	98	1,40	1,40
Затрачено на приобретение сорбентов, руб.	1,76	0,25	0,50
Разница в содержании ^{137}Cs в мясе в сравнении с контролем, Бк	1650	1870	2113
Затраты на 1 тыс. Бк, руб.	1,07	0,14	0,24

Содержание ^{137}Cs в мясе кроликов в контрольной группе составило 2405 Бк, в 1, 2 и 3-й группах – 755, 525 и 292 Бк соответственно, разница между контролем и группами – 1650, 1870 и 2113 Бк. Затраты на 1 тыс. Бк при накоплении ^{137}Cs в мясе кроликов во 2-й группе снизились на 0,93 руб., или в 7,6 раза, в 3-й группе – на 0,83 руб., или в 4,0 раза, в сравнении с данным показателем в 1-й группе.

В период проведения эксперимента с лактирующими коровами подопытным животным в течение первых 14 сут скормливали кукурузный силос (48 кг/сут), луговое сено (0,5 кг/сут), комбикорм (6 кг/сут). С 14-х по 20-е сутки кукурузный силос был заменен зеленой массой (разнотравье) в количестве 42 кг/сут.

В табл. 4 приведены результаты измерения содержания ^{137}Cs в кормах, входивших в состав рационов подопытных коров.

Т а б л и ц а 4. Удельная активность ^{137}Cs в кормах, Бк/кг

Table 4. Specific activity of ^{137}Cs feed, Bq/kg

Вид корма	Начало опыта	Середина опыта	Конец опыта	За период опыта
Силос кукурузный	35,1 ± 4,5	7,0 ± 1,9	–	21,2 ± 2,1
Зеленая масса (разнотравье)	–	–	34,2 ± 5,1	34,2 ± 5,1
Сено луговое	3758,0 ± 473,0	3627,0 ± 457,0	3752,0 ± 473,0	3712,3 ± 74,0
Комбикорм	1,1 ± 0,3	3,1 ± 0,9	2,8 ± 0,9	2,3 ± 1,1

Среди кормов максимальное содержание ^{137}Cs было зарегистрировано в сене луговом – в среднем $3712,3 \pm 74,0$ Бк/кг. За время опыта в комбикорме содержание цезия в среднем находилось на уровне $2,3 \pm 1,1$ Бк/кг, в силосе кукурузном – $21,2 \pm 2,1$, в зеленой массе – $34,2 \pm 5,1$ Бк/кг.

С учетом содержания в кормах радиоцезия было рассчитано суммарное его содержание по периодам опыта, а также за весь период опыта (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Активность ^{137}Cs в суточном рационе коров в разные периоды опыта, Бк
T a b l e 5. Total activity of ^{137}Cs in the daily diet of cows in different experiment periods, Bq

Вид корма	Кол-во кормов, кг	Начало опыта	Середина опыта	Конец опыта
Силос кукурузный	48	1684,8	336,0	–
Зеленая масса (разнотравье)	42	–	–	1436,4
Сено луговое	0,5	1879,0	1813,5	1876,0
Комбикорм	6	6,6	18,6	16,8
Суммарная активность суточного рациона, Бк/сут		3570,4	2168,1	3329,2

Суммарная активность суточного рациона подопытных животных в разные периоды проведения опыта находилась в диапазоне от 2168,1 до 3570,4 Бк/кг и в среднем составила $3022,6 \pm 749,7$ Бк/кг.

В табл. 6 приведены результаты измерения удельной активности молока в разные периоды проведения опыта. За весь период опыта удельная концентрация ^{137}Cs в контрольной группе составила 5,93 Бк/кг, в опытной – 2,22 Бк/кг, что на 3,71 Бк/кг меньше.

Т а б л и ц а 6. Удельная активность молока экспериментальных коров по периодам отбора
T a b l e 6. Milk specific activity of experimental cows by selection periods

Группа	Удельная активность молока, Бк/кг						
	Начало опыта	5-е сутки	8-е сутки	11-е сутки	14-е сутки	17-е сутки	20-е сутки
Контрольная	$3,1 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,5$	$5,8 \pm 2,2$	$4,3 \pm 0,6$	$7,7 \pm 0,7$	$6,9 \pm 0,8$	$7,9 \pm 3,7$
Опытная	$2,6 \pm 1,0$	$1,4 \pm 0,4$	$1,3 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,3$	$3,0 \pm 1,8$	$2,4 \pm 1,5$	$3,6 \pm 2,0$
Кратность снижения (в разы) по сравнению с контролем	–	1,7	4,5	2,7	2,6	2,9	2,2

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, кратность снижения содержания ^{137}Cs в молоке коров опытной группы, начиная с 5-х по 20-е сутки, находилась в интервале от 1,7 до 4,5 раза. При этом переход ^{137}Cs с молоком в контрольной группе за время опыта при среднем удое 23,9 кг и содержании радионуклида 5,93 Бк/кг составил 14 173 Бк, в опытной группе при среднем удое 24,9 кг и содержании радионуклида 2,22 Бк/кг – 5528 Бк, что на 8645 Бк меньше.

При проведении опыта использовался модифицированный углеродный сорбент в дозе 40 г/гол. За это время опытной группе коров было скормлено 4 кг углеродного сорбента на сумму 5,6 бел. руб. Разница в содержании ^{137}Cs в надоемном молоке животных опытной группы в сравнении с контрольной составила 8,6 тыс. Бк, или 0,65 бел. руб. на 1 тыс. Бк.

При использовании в опыте ферроцина в количестве 300 г на группу и его стоимости 98 руб/кг возможные затраты возросли бы до 29,4 бел. руб. В итоге на 1 тыс. Бк затраты на снижение содержания ^{137}Cs в молоке животных опытной группы увеличилось бы до 3,40 руб. Следовательно, применение ферроцина оказалось бы примерно в 5,2 раза более затратным, чем при использовании углеродного сорбента.

Закключение. В опытах на кроликах установлено, что ферроцин в дозе 0,2 г/гол и модифицированный углеродный сорбент в дозах 2 и 4 г/гол в составе комбикорма не оказывают отрицательного влияния на аппетит животных, поедаемость кормов и прирост живой массы.

Применение сорбентов способствует в 3,18–8,23 раза более низкому накоплению ^{137}Cs в мышечной ткани кроликов в сравнении с контролем. Модифицированный ферроцином (5 %) углеродный сорбент производства Института природопользования НАН Беларуси в дозах 2 и 4 г/гол

соответственно в 1,4 и 2,6 раза эффективнее, чем чистый ферроцин. Модифицированный углеродный сорбент в дозе 4 г в 1,7 раза эффективней, чем в дозе 2 г.

Параметры перехода ^{137}Cs в звене миграции рацион–мышечная ткань в контрольной группе составили 1,38, в 1-й группе – 0,43, во 2-й группе – 0,30, в 3-й группе – 0,16, что, соответственно, на 95,1; 107,8 и 121,8 % меньше в сравнении с контролем.

Стоимость 1 кг собственно изготовленного модифицированного ферроцином углеродного сорбента значительно ниже, чем приобретаемого в Российской Федерации ферроцина. В опыте на кроликах установлено, что применение собственного сорбента в дозе 2 г/гол в сутки требует затрат на сумму 0,28 коп., в дозе 4 г/гол – на сумму 0,56 коп., что на 1,68 и 1,4 коп. соответственно меньше в сравнении с применением ферроцина. Затраты на 1 тыс. Бк на снижение накопления в мясе кроликов ^{137}Cs в группе с углеродным сорбентом в дозе 2 г/гол (0,93 руб.), в 7,6 раза, а в дозе 4 г/гол (0,83 руб.) – 4,0 раза меньше, чем в группе с ферроцином.

В результате полученных нами данных установлено, что скармливание на загрязненной территории ферроцинсодержащего углеродного сорбента не оказало отрицательного влияния на молочную продуктивность лактирующих коров. На 20-е сутки опыта удой коров опытной группы составил $24,7 \pm 2,0$ кг, а удой коров контрольной группы был на уровне $23,9 \pm 2,1$ кг.

Начиная с 5-х по 20-е сутки применения углеродного сорбента установлено снижение содержания ^{137}Cs в молоке от 1,7 до 4,5 раза.

В стоимостном выражении затраты на сорбент с целью снижения содержания ^{137}Cs в молоке на 1 тыс. Бк составили 0,65 руб. Таким образом, применение ферроцина примерно в 5,2 раза может быть более затратным.

Список использованных источников

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск, 2012. – 122 с.
2. Карпенко, А. Ф. Радиоэкологическое состояние сельскохозяйственных земель Гомельщины / А. Ф. Карпенко // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 3–5 декабря 2018 г.) : в 2 кн. / отв. ред. Т. Я. Ашихмина. – Киров, 2018. – Кн. 1. – С. 292–297.
3. Подоляк, А. Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях / А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко. – Мозырь : Мозыр. гос. пед. уг-т им. И. П. Шамякина, 2017. – 242 с.
4. Алексахин, Р. М. Сельскохозяйственная радиология / Р. М. Алексахин, Н. А. Корнеев. – М. : Экология. 1991. – 398 с.
5. Губарева, О. С. Применение новых ферроцинсодержащих комплексных кормовых добавок для снижения содержания ^{137}Cs в молоке коров / О. С. Губарева, Н. Н. Исамов, П. Н. Цыгвинцев // Радиация и риск. – 2015. – Т. 24, № 4. – С. 35–42.
6. Сельскохозяйственная радиэкология / Р. М. Алексахин [и др.]. – М. : Экология, 1992. – 397 с.
7. Оценка радиологической эффективности комплексного применения смеси комбикормов с ферроцинсодержащими препаратами в хозяйствах юго-западных районов Брянской области / О. С. Губарева [и др.] // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 1. – С. 89–99.
8. Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128–133.
9. О ферроцианидсодержащих сорбентах / А. Ф. Карпенко [и др.] // Радиобиология: современные проблемы : материалы междунар. науч. конф. (26–27 сент. 2019 г., г. Гомель) / ред.: И. А. Чешик [и др.]. – Гомель, 2019. – С. 86–92.
10. Карпенко, А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы / А. Ф. Карпенко. – Брянск : Дельта, 2012. – 258 с.
11. Проблемы радиационной реабилитации загрязненных территорий / Ю. М. Жученко [и др.] ; под ред. В. Ю. Агееца. – Гомель : Ин-т радиологии, 2004. – 121 с.

References

1. *Recommendations for the conduct of agricultural production in the conditions of radioactive contamination of the lands of the Republic of Belarus for 2012–2016*. Minsk, 2012. 122 p. (in Russian).
2. Karpenko A. F. Radioecological state of agricultural lands in the Gomel region. *Biagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy XVI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Kirov, 3–5 dekabrya 2018 goda). Kniga 1* [Biostatistics of the state of natural and natural-technogenic systems: materials of the XVI All-Russian scientific and practical conference with international participation (Kirov, December 3–5, 2018). Book 1]. Kirov, 2018, pp. 292–297 (in Russian).

3. Podolyak A. G., Valetov V. V., Karpenko A. F. *Scientific aspects of agricultural production in post-Chernobyl conditions*. Mozyr, Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin, 2017. 242 p. (in Russian).
4. Aleksakhin R. M., Korneev N. A. *Agricultural radiology*. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 398 p. (in Russian).
5. Gubareva O. S., Isamov N. N., Tsygvintsev P. N. New ferrocene-based forage additives for reducing ¹³⁷Cs content in cow milk. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk], 2015, vol. 24, no. 4, pp. 35–42 (in Russian).
6. Aleksakhin R. M., Vasil'ev A. V., Dikarev V. G., Egorova V. A. *Agricultural radioecology*. Moscow, Ekologiya Publ., 1992. 397 p. (in Russian).
7. Gubareva O. S., Isamov N. N., Tsygvintsev P. N., Ryasnaya E. I., Aleshkina E. N. Radiological effectiveness of the use of prussian blue in combination with mixed cattle feed in livestock farms in the south-west rayons of the Bryansk oblast. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk], 2017, vol. 26, no. 1, pp. 89–99 (in Russian).
8. Tomson A. E., Sokolova T. V., Navosha Yu. Yu., Tsaryuk T. Ya., Sosnovskaya N. E., Bulgakova N. A., Pekhtereva V. S., Falyushina I. P., Tsarenok A. A. Compositional enterosorbent on the base of peat activated coal. *Prirodopol'zovanie* [Nature management], 2018, no. 2, pp. 128–133 (in Russian).
9. Karpenko A. F., Tsarenok A. A., Makarovets I. V., Antipenko O. A. On ferrocyanide-containing sorbents. *Radiobiologiya: sovremennye problemy: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (26–27 sentyabrya 2019 goda, Gomel')* [Radiobiology: modern problems: materials of the international scientific conference (September 26–27, 2019, Gomel)]. Gomel, 2019, pp. 86–92 (in Russian).
10. Karpenko A. F. *Ecological and economic problems of agricultural production in the Gomel region after the Chernobyl disaster*. Bryansk, Del'ta Publ., 2012. 258 p. (in Russian).
11. Zhuchenko Yu. M., Averin V. S., Firsakova S. K., Grebenshchikova N. V., Osipenko A. N., Teshkovskii A. V., Timofeev A. S., Timofeev S. F., Drobyshvskaya V. V., Tsygvintsev P. N., Avtushko M. I. *Problems of radiation rehabilitation of contaminated territories*. Gomel, Institute of Radiology Publ., 2004. 121 p. (in Russian).

Информация об авторе

Антипенко Ольга Николаевна – соискатель. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: Antipenko_79@mail.ru

Information about the author

Olga N. Antipenko – applicant. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyuninski Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: Antipenko_79@mail.ru